

형상 역공학을 통한 공정중 금형 가공물의 자동인식

김정권*, 윤길상+, 최진화+, 김동우+ 조명우**, 박균명***

Automatic Recognition of In-Process mold Dies Based on Reverse Engineering Technology

J. K. Kim*, G. S. Yoon+, J. H. Choi+, D. W. Kim+, M. W.-Cho**, K. M Park***

Abstract

Generally, reverse engineering means getting CAD data from unidentified shape using vision or 3D laser scanner system. In this paper, we studied unidentified model by machine vision based reverse engineering system to get information about in-processing model. Recently, vision technology is widely used in current factories, because it could inspect the in-process object easily, quickly, accurately. The following tasks were mainly investigated and implemented. We obtained more precise data by correcting camera's distortion, compensating slit-beam error and revising acquired image. Much more, we made similar curves or surface with B-spline approximation for precision. Until now, there have been many case study of shape recognition. But it was uncompatible to apply to the field, because it had taken too many processing time and has frequent recognition failure. This paper propose recognition algorithm that prevent such errors and give applications to the field.

Key Words : Reverse Engineering(역공학), Vision System(비전 시스템), Image Processing(영상처리), Recognition(인식)

1. 서론

1.1 Reverse Engineering

역공학(Reverse Engineering)이란 캐드 8데이터가 존재하지 않는 사물로부터 제품개발 Process의 역방향으로 제품 설계를 수행하는 것을 말한다. 이것은 일반적으로 일련

의 3단계를 거치게 되는데 첫 번째로, 임의의 제품을 3차원 Laser 측정기 등으로 스캐닝 하여 3차원 포인트 데이터를 생성한 후 두 번째로, 획득된 좌표 점을 이용하여 최적의 Quality를 갖는 surface 모델링을 한다. 세 번째로, 완성된 Surface 데이터와 처음 획득된 좌표 값들과의 오차를 분석하여 Solid 모델링 및 2D 도면을 생성한다. 이러한 역

* 인하대학교 기계공학과 (g2011007@inhavision.ac.kr)
주소: 402-751 인천광역시 남구 용현동 253번지
+ 인하대학교 기계공학과 대학원
++ 인하대학교 기계공학부
+++ 한국생산기술연구원

공학의 주요 응용 분야는 설계 도면이 존재하지 않는 제품의 단순 복제, 기존 제품의 해석 및 수정을 통한 새로운 제품 개발, 제품개발 단계에서의 모형(mock-up)이나 클레이 모델(clay model)로부터 CAD 모델 생성 등이다.

정보 공유에 대한 관심이 높아지고 있는 가운데 현대에 와서는 상당수의 제조 환경이 점차 분산. 이질화 되어 가고 있다. 이로 인하여 정보의 공유와 협동 작업의 중요성이 커지고 있으며, 조직 및 지리적 제약을 극복할 필요성이 대두되고 있다. 이를 효과적으로 해결하기 위한 중요한 인프라(infra structure)가 인터넷/인터넷 및 관련 기반 기술인테점차적으로 CAD 모델에 대한 엔지니어의 작업도 웹 기반으로 되어가고 있다. 이는 결국 인터넷을 통해 빠르고 쉽게 부품 데이터에 접근할 수 있는 기반을 마련과 실제 3차원 모델 데이터를 공유함으로써 실무자들의 협업을 가능케 한다.⁽¹⁾

1.2 Recognition

1970년대 말부터 머신비전을 이용한 형상인식에 대한 연구가 많이 진행되어 왔는데 적용기술로는 2차원 영상으로부터 추출된 특징 등을 이용하여 제품을 자동으로 인식하는 기술들이 개발되어왔다. 현대에 와서는 다양한 영상인식기술의 발달로 여러 분야에서 폭 넓게 사용되고 있으나 비전을 이용한 인식문제에서 신뢰성 있는 결과 값을 얻기 위해서는 풀어야 할 과제들이 몇 가지 있다. (1) 이미지의 밝기는 조명의 종류 및 세기, 카메라의 위치, 렌즈의 광학특성, 피사체의 표면 특성 등에 따라 민감하게 변화한다. (2) 2차원 영상으로부터 3차원 영상을 얻을 경우 투사되는 방향에 따라 그 형상이나 모습이 변화하게 된다. (3) 실제 산업현장에 실시간으로 적용하기에는 처리되어야 할 데이터 량이 많다. 그리고 지금까지 이러한 문제들을 해결하기 위해 인공지능 알고리즘, 데이터 샘플링, 투사불변량을 이용한 인식 등의 많은 방안들이 마련되어 왔으나, 실험실 연구 수준에서 그쳤을 뿐 실제 산업현장에 적용하기에는 아직까지 많은 문제점을 내포하고 있는 것이 현실이다.⁽²⁾ 하지만, 기본적인 특징형상을 추출하는 연구는 지금까지 활발히 진행되고 있으며 심지어 자유곡면에 대한 특징점 추출로 역공학 문제를 해결하고자 하는 노력도 있다.

실질적으로 금형업체에서는 특정 CNC머신에서 가공중인 대상물에 대한 정보를 일일이 서류를 통해 확인을 하고 있다. 본 연구에서는 효율적인 스캐닝 방법을 이용한 비전 시스템을 제안 하였으며 이를 통해 얻어진 2차원 이미지와

Reverse를 통한 3차원 형상정보를 활용함으로써 실제 금형 제조업에서 인식시스템을 제안하였다. 이는 앞서 언급한 특징형상을 이용한 3차원 형상 데이터 생성뿐만 아니라 캐드 데이터베이스와의 형상정보 matching 작업을 통해 금형가공 중인 대상물에 대한 식별이 가능하도록 한 것이다

2. 시스템 구성

2.1 비전 시스템 구성

현재까지 기상측정(OMM, On-Machine Measurement)과 관련된 역공학은 측정에 있어 단일 시스템을 구성하기 보다는 복합 시스템 형태로 발전하고 있다. 즉, 측정 정밀도를 향상하기 위해 터치 프로브(touch probe), 레이저 센서(laser sensor), 비전 시스템(vision system)등 3가지 측정 센서가 주로 채택되어 연구되고 있으며, 이는 접촉식과 비접촉식으로 구분 지을 수 있다. 접촉식 센서인 터치 프로브는 매우 정밀한 측정데이터를 얻을 수 있으나 많은 측정시간이 소요되어 효율적이지 못하며, 접촉에 의해 형상이 변형되거나 오염될 수 있는 물체에 대해서는 측정이 곤란한 어려움을 가지고 있다. 비접촉식 센서로서 레이저 센서의 경우 선 형태의(line type) 측정 방식으로 빠른 측정 속도와 높은 정밀도를 얻을 수 있다. 또한, 터치 프로브가 측정할 수 없는 작은 구멍피처(hole feature)에 대한 측정 및 프로파일(profile) 측정이 가능하지만, 스캐닝 방향에 따른 데이터 손실영역이 존재할 수 있다는 단점을 가지고 있다. 비전 시스템의 경우, 광학적인 측정방법으로 레이저 슬릿빔 또는 빔 프로젝터(DLP)의 슬릿빔을 이용한 선 측정방식과 모아레 측정법이나 스테레오비전과 같은 면적 측정방식이 있는데 빠른 측정 속도와 비교적 높은 정밀도를 얻을 수 있다. 그러나 이 시스템 역시 단일 카메라를 사용했을 경우에 측정 불가능한 영역(invisible area)이 존재하게 된다.⁽³⁾

본 연구에서는 단일 카메라를 이용한 비전 시스템으로 구성하였으며, 라인 타입의 고 정밀도 레이저 슬릿빔을 이용하였다. 측정시 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위한 방안으로는 기상에서 보정면을 이용한 카메라 보정 및 슬릿빔 보정기법과 이미지 프로세싱 기법 등을 사용하였으며, 획득 영상에 대한 왜곡 보정 기술을 사용하였다.

3. 형상 역공학

3.1 비전 시스템의 측정이론

3.1.1 카메라왜곡 보정원리

슬릿광을 이용한 형상 측정방법은 공간상에 평면으로 형성된 슬릿광과 CCD 카메라 사이의 기하광학을 이용한 측정기술로서 측정대상물의 공간상의 실제 측정데이터는 레이저 슬릿빔과 CCD 카메라의 투영선이 만나는 교점을 구함으로서 얻을 수 있는데, 여기서는 보정면을 이용한 카메라 보정 기법을 적용하였다. 카메라에 의해 획득된 영상은 많은 왜곡을 포함하고 있는데 주로 반경(radial) 방향의 왜곡현상이 주된 요인으로 작용한다. 슬릿광을 이용한 형상 측정방법은 공간상에 평면으로 형성된 슬릿광과 CCD 카메라 사이의 기하광학을 이용한 측정기술로서 측정대상물의 공간상의 실제 측정데이터는 레이저 슬릿빔과 CCD 카메라의 투영선이 만나는 교점을 구함으로서 얻을 수 있는데, 여기서는 보정면을 이용한 카메라 보정 기법을 적용하였다. 카메라에 의해 획득된 영상은 많은 왜곡을 포함하고 있는데 주로 반경(radial) 방향의 왜곡현상이 주된 요인으로 작용한다.⁽⁴⁾

일반적인 카메라 교정을 위한 대표적인 교정 방법을 사용하여 비선형 모형을 수리적인 선형 모델로 정형화하여 카메라의 왜곡을 교정한다. 정형화는 다음과 같다.

1단계 : 3D 실세계 좌표계상의 (x_w, y_w, z_w) 를 카메라 좌표계 (x, y, z) 로 변환

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + T \quad (1)$$

여기서, $R = \begin{bmatrix} R1 & R2 & R3 \\ R4 & R5 & R6 \\ R7 & R8 & R9 \end{bmatrix}$, $T = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$ 이다.

2단계 : 핀홀(pin hole)카메라모형을 이용하여 오차가 없는 카메라 영상좌표계 (X_u, Y_u) 로 변환

$$X_u = f \frac{x}{z}, Y_u = f \frac{y}{z} \quad (2)$$

3단계: 2단계에서 변환된 영상좌표계에 반경방향외곡을 보정한다.

$$X_u = X_d + D_x, Y_u = Y_d + D_y \quad (3)$$

여기서, $D_x = X_d(k_1 \xi^2 + k_2 \xi^4 + \dots)$

$$D_y = Y_d(k_1 \xi^2 + k_2 \xi^4 + \dots)$$

$$\xi^2 = X_d^2 + Y_d^2, k_1, k_2 \text{ 는 왜곡계수}$$

4단계 : (X_d, Y_d) 를 컴퓨터의 영상 좌표계 (X_f, Y_f) 로 변환

$$\begin{aligned} X_f &= S_x d_x^{-1} X_d + C_x \\ Y_f &= d_y^{-1} Y_d + C_y \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 d_x =CCD 센서의 x 축 방향 크기,

d_y =CCD 센서의 y 축 방향 크기

(C_x, C_y) 는 영상의 원점

위식의 관계를 이용하여 카메라 계수의 고차항을 무시하고 4가지 변환단계를 거쳐 실세계좌표와 영상좌표간의 관계를 정리하면 다음과 같다.

$$X = X_f - C_x, Y = Y_f - C_y \quad (5)$$

$$s_x^{-1} d_x + S_x^{-1} d_x X k \xi^2 = f \frac{R_1 x_w + R_2 y_w + R_3 z_w + t_x}{R_7 x_w + R_8 y_w + R_9 z_w + t_z} \quad (6)$$

$$d_y Y + d_y Y k \xi^2 = f \frac{R_4 x_w + R_5 y_w + R_6 z_w + t_y}{R_7 x_w + R_8 y_w + R_9 z_w + t_z} \quad (7)$$

각 계수들은 주어진 교정점 들로부터 최소자승법을 이용하여 구할 수 있다.

3.1.2 이미지 프로세싱

카메라에 의해 획득된 데이터는 각 픽셀이 0에서부터 255까지의 명도를 가지는 그레이(grey) 형태로 나타나게 되는데 실제로 이러한 데이터는 그대로 사용할 수 없기 때문에 경계값(threshold)을 이용하여 이진(binary) 영상으로 만들게 된다. 이것은 입력 영상의 각 화소에 대해서 명도가 있는 일정값 이상의 경우에 대응하는 출력 영상의 화소(pixel)값을 1로서, 그 외의 경우는 0으로 하는 것이다. 다음으로 경계선 검출을 수행하게 되는데 이는 이진치리로 인한 영상의 윤곽을 검출하는 작업으로서 농담치가 급격히 변화하는 부분이기 때문에 함수의 변화분을 취하는 미분 연산

이 윤곽선 추출에 사용될 수 있다. 이렇게 획득된 데이터는 영상에 따라 잡음(noise)이 많이 존재할 수 있는데 이를 위해 잡음제거(noise filtering) 작업을 추가로 해야 한다.

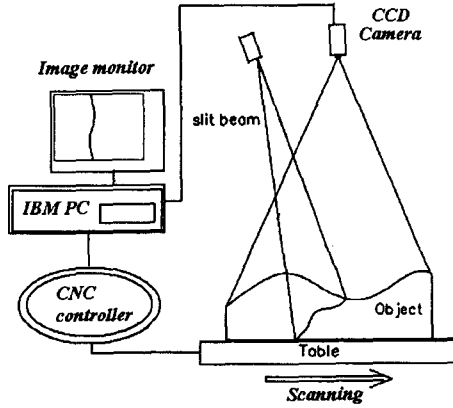


Fig.1 Vision System with slit beam

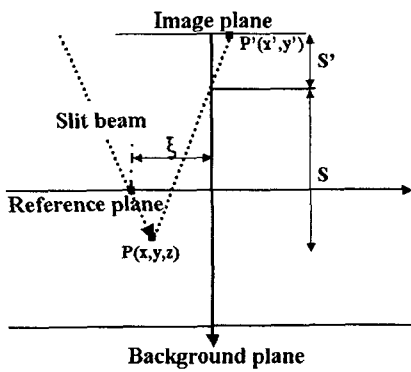


Fig.2 Projection angle of slit beam

3.2 슬릿빔 보정

슬릿광 주사 방법은 공간상에 평면으로 형성된 슬릿광과 컴퓨터비전을 이용한 광삼각법에 의한 삼차원 형성 기술이다. fig.1에서 보는 바와 같이 하나의 평면 슬릿광원과 카메라 그리고 측정 물체를 vision system에 연결하고 측정물의 직선방향으로 일정거리 만큼 이동시키면서 측정물 전체의 표면에 대해 형상을 얻게 된다.

삼차원 형상을 구현하기 위한 기하학적 관계는 fig. 2에서와 같다. 그림에서와 같이 물체상의 점 $P(x, y, z)$ 가 슬릿광에 의해 조명되고, 카메라에 포착되었을 때, 그

영상점을 $p(x' y')$ 라고 하며, 기하학적인 변환관계는 다음과 같은 행렬식으로 표현 될 수 있다.⁽⁹⁾

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = T_c \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (8)$$

여기서 물체와 카메라의 기하학적 관계를 결정짓는 T_c 는 다음과 같이 정의 될 수 있다.

$$T_c = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

m 은 카메라의 배율로 기준물체거리 S 와 기준영상거리 s' 그리고 물체 거리 z 에 의해 다음과 같이 정의 된다.

$$m = \frac{s'}{S+z} \quad (10)$$

식(8)로부터 영상점 정보만을 가지고 T_c 의 역함수를 구할 수 없으므로 추가 정보인 슬릿광의 정보를 이용한다. 슬릿광의 주사각도는 z 축과 θ 의 각도를 가지고 있으며 이는 다음과 같이 평면 방정식으로 표현 될 수 있다.

$$z = (x - \xi) \cot \theta \quad (11)$$

식 (11)을 식(1)과 병합하려면 T_c 를 T_c' 로 만들어 역함수를 구할 수 있게 된다. 최종적으로 다음과 같은 방정식이 성립하게 된다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \xi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 1 & 0 & -\tan \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (12)$$

따라서 구해진 식 (12)에 식 (10)의 m 을 넣어 보면 다음과 같은 물체점 $P(x, y, z)$ 의 삼차원 좌표값을 얻을 수 있다.

$$x = \frac{x'(\xi + s \tan \theta)}{x' + s' \tan \theta}$$

$$y = \frac{y'(\xi + s \tan \theta)}{x' + s' \tan \theta}$$

$$z = -\frac{y'(\xi s' - x' S)}{x' + s' \tan \theta}$$

4. 형상인식

4.1 금형 Feature를 통한 형상인식

본 연구에서 제안한 인식에 관한 전체적인 방법론은 먼저 적절한 측정계획에 의하여 물체를 측정한 뒤, 측정 점들로부터 특징형상 관계를 얻기 위해 에지(edge) 점들을 찾아낸다. 그리고 경계선 검출이 이루어진 2차원 영상에서 특징형상을 분류하여야 하는데 이때 효율적인 진행을 위해 특징형상과 해당 측정점들이 일대일 대응될 수 있도록 하여야 한다. 이는 한 개의 영역이 한 개의 특징형상으로 대응되면 특징형상을 인식하는 과정이 상대적으로 수월해지기 때문인데 이와 같이 개별 영역으로 분류하는 작업을 세그멘테이션(segmentation)이라 한다. 다음 과정으로, 금형이 가지고 있는 hole, block, boss, slot, step, pocket 등의 특징형상들이 2D 이미지 상에서 원과 사각도형으로 표현되어 질 수 있으므로 각각에 대하여 형상인식 기법을 사용하게 된다.⁽⁶⁾

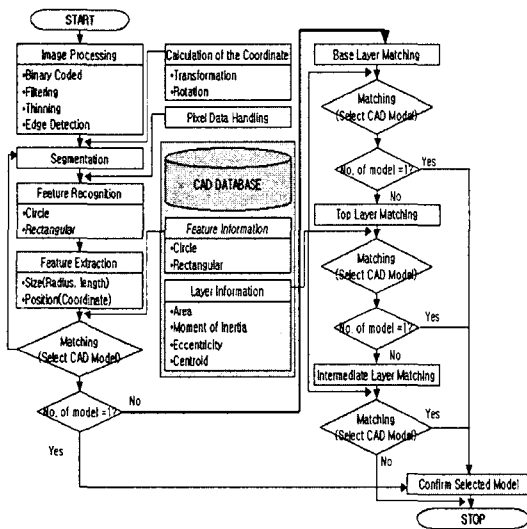


Fig. 3. Recognition chart

만약 세그멘테이션 안의 측정점들이 형상이 가지는 공차 범위를 만족하지 않을 경우에 인식대상에서 제외된다. 각각

의 형상들은 그 사이즈나 위치정보를 갖고 있기 때문에 이를 이용해 데이터베이스에 있는 CAD 모델들과 Matching 할 수 있다. 이러한 세그멘테이션 작업은 작업자에 의해 일일이 지정이 되어야 하는 번거로움이 있을 수 있어 대상물에 따라 복잡할 수 있다.

4.2 자유곡면형상에서 Z-layer를 이용한 인식

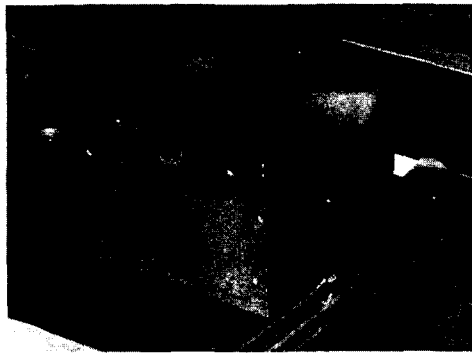
금형의 구성은 앞서 언급한 특징형상뿐만 아니라 다양한 자유곡면 형상으로도 구성이 되기 때문에 이에 대한 효율적인 인식방법을 필요로 한다. 가령, 특정 금형에 대하여 2차원 이미지 인식문제에 해결이 되지 않을 경우, 자유곡면 형상으로 판단을 해야 한다. 이때 필요로 하는 개념이 z-layers로서 기본적으로 3차원 형상을 기반으로 한다.⁽⁵⁾ 이것은 비전에서 획득된 2차원 이미지를 역공학으로 3차원 형상으로 복원한 후에 가능한 작업으로 각각의 z value로서 xy plane 상에 투영하여 각각 base layer, top layer, intermediate layer로 구분한다.⁽⁷⁾ 이러한 경우, 각 레이어 단계를 거치면서 Area, Moment of Inertia, Eccentricity, Centroid에 대한 해당 layer 정보를 추출하게 되는데 이는 자유곡면에 대한 인식문제 해결에 있어 매우 중요하다. 대부분의 경우에, 자유곡면은 base layer와 top layer만으로 분류가 되지만, 정확한 검증을 위해 intermediate layer를 사용한다.



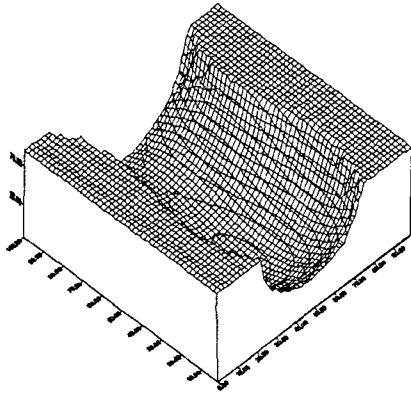
Fig. 4 Vision System for Reverse Engineering.

5. 실험 및 고찰

본 연구에서는 기상에서 CCD카메라와 슬릿광을 이용해 금형물체의 2차원 영상 데이터를 3차원 데이터로 변환하였고, 실제CAD데이터를 이용하여 만든 금형 측정물을 기상에서 슬릿빔 비전 장치를 이용하여 실제 CAD데이터와 비교 하였다. Fig 5.에서 (a)는 CAD모델이며, (b)는 실제로 측정하여 모델을 재구성한 모델이다. 표(c)는 각각의 외형 비교를 하였다.



(a) CAD Model



(b) Regenerated Model

구분	CAD	Object	Regenerated	단위
가로	100	99.85	98.67	mm
세로	100	99.85	98.23	mm
높이	75	74.15	73.72.	mm

Fig. 5 (c). Compare with CAD and Generated Model

6. 결론

본 논문에서는 이미지 프로세싱과, 슬릿광과 카메라 그리고 대상 금형물체간의 광 삼각법과 기하학을 이용한 비전 시스템으로 형상복원을 하는 과정을 기상에서 수행 하였다. 또한 기상에서 Reverse를 통한 3차원 형상정보를 활용함으로써 실제 금형 제조업에서 사용가능한 인식시스템을 제안 하였다. 이는 다양한 가공패턴과 물체에 대한 인식, 가공중 상태를 모니터링을 가능하게 할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- (1) J. H. Park., 2002, "Internet & Principles of CAD/CAM/CAE systems", *Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 40, No. 6, pp 34-37
- (2) S. H. Han, G. J. Jang, K. J. Yoon, J. H. Cha, H. S. Roh and I. S. Kweon., 2001, "The Latest Trends of Machine Vision", *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 18, No. 3, pp 23-34
- (3) G. S. Yoon, Y. H. Kwon and M. W. Cho., 2002, "A Study on the 3-dimensional feature measurement system for OMM using multiple-sensors", *Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 2, No. 1, pp 158-163
- (4) K. J. Kim, K. S. Yoon, M. W. Cho, T. I. Seo, H. D. Kwon., 2002, "Reverse Engineering of Compound Surfaces on the Machine Tool using a Vision Probe", *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 2, No. 1, pp 287-292.
- (5) Hyun-Goo Park, Seung-Woo Kim and June-ho Park., 1993, "3-Dimensional Profile Measurement of Free-Formed Surfaces by Slit Beam Scanning Topography", *The Korean Society of Mechanical Engineers* . pp1202~1207
- (6) Y. T. Jun and S. H. Park., 2000, "Geometric Feature Recognition Directly from Scanned Points using Artificial Neural Networks", Vol. 17, No. 6, pp 176-184
- (7) M. W. Cho, M. K. Kim and K. Kim., 1995, "Flexible inspection system based on a vision guided coordinate measuring machine", *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 33, No. 5, pp 1433-1448